

# IMPLANTAÇÃO E INTERLIGAÇÃO DE CAMPO DE PONTOS PLANIMÉTRICOS DE REFERÊNCIA PARA O GEORREFERENCIAMENTO DE ESTRUTURAS ARQUITETÔNICAS

LUCIENE FERREIRA GAMA  
ANDRÉIA DE SEIXAS  
ESTUDANTES DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  
BÁRBARA CARDOSO TENÓRIO

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE  
Centro de tecnologia e Geociências - CTG  
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife – PE  
Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação.  
{gamalf@gmail.com, aseixas@ufpe.br, barbara.tenorio@ufpe.br}

**RESUMO** – Estruturas geodésicas de referência são importantes para o posicionamento de edificações, neste trabalho as edificações arquitetônicas históricas. As mesmas resgatam os valores de uma cidade e por isso são designadas de monumentos históricos, pertencendo assim, ao Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade. Para gerenciamento das mesmas, em grande parte localizadas em sítios arqueológicos de cidades históricas, como é o caso do Sítio Histórico de Olinda, torna-se necessário que estas sejam representadas cartograficamente e que tenham sua estrutura física monitorada quanto ao estado de conservação, devido ao tempo de construção. Neste contexto, foi implantado e densificado um campo de pontos planimétricos de referência estáveis, conectados a redes geodésicas de referência, com o emprego da Tecnologia GPS e Estação Total em duas áreas distintas: no Campus da UFPE e no Sítio Histórico de Olinda. Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de atividades práticas de Disciplinas e Pesquisas, a nível de Iniciação Científica e Pós-Graduação, relacionadas à Área da Topografia, integrando estudantes da Graduação dos Cursos de Engenharia Cartográfica, Civil, Arquitetura e Urbanismo e Pós-Graduação da UFPE. Além disso, são apresentados a metodologia empregada e os resultados obtidos nos levantamentos realizados no Campus da UFPE.

**ABSTRACT** – Reference Geodesic Structures are important to the positioning of buildings, in this particular work, the historical architectural buildings. It is known that they recover the values of a city and so they are called historic monuments. Because of this reason they belong to the Historical and Cultural Heritage of Humanity. A way to manage them (largely located in archaeological sites of historical cities, such as the Historic Site of Olinda) is that it becomes necessary that these constructions might have a cartographic representation and a tracking of their physical structure on the state of repair due to time of construction. In this context a field of planimetric reference points was located and densificado connected to reference geodesic networks, using the technology of GPS and Total Station in two distinct areas: UFPE campus and Olinda Historic Site. This paper aims to present the development of practical activities of Disciplines and Research, in the level of Undergraduate and Post-Graduate, related to the topography of the area, integrating students of the Graduate Courses Cartographic Engineering, Civil, Architecture and Urbanism and Post-Graduate of UFPE. Moreover are presented the methodology employed and the results obtained in the survey conducted on UFPE campus.

## 1 INTRODUÇÃO

O monitoramento automático de deformação de obras arquitetônicas, assim como a reconstrução de superfícies e estruturas complexas de objetos, incentivou na década de 90 o estudo, aperfeiçoamento e o desenvolvimento de novos sistemas geodésicos e fotogramétricos de medição tridimensional (3D).

Medições de interiores de construções e de cidades arqueológicas são uma das áreas de aplicação destes

sistemas de medição, onde a representação 3D do objeto é de grande importância para a reconstrução e conservação das estruturas arquitetônicas, assim como para o diagnóstico e monitoramento de possíveis riscos e danos estruturais nas edificações que possam vir a existir.

Pesquisas estão sendo desenvolvidas no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) na área de Geodésia Aplicada, objetivando testar e analisar metodologias de levantamentos geodésicos

empregados ao posicionamento e monitoramento de estruturas arquitetônicas históricas. Para uma maior interação e dinamismo entre o Curso de Engenharia Cartográfica e a Pós-Graduação, esta pesquisa está sendo desenvolvida com participação de estudantes alunos das disciplinas de Topografia do Curso de Engenharia Cartográfica e Iniciação Científica.

Neste contexto foi implantado e medido um conjunto de campo de pontos de referência, definidores de estruturas geodésicas de georreferenciamento, e um conjunto de pontos-objeto que caracteriza os pontos de limites da área edificada e “non aedificandi”, por meio de diferentes métodos de levantamento, sendo a princípio abordados medições planimétricas com o emprego de estações totais e do GPS. Este último sistema de medição foi utilizado, no presente trabalho, para a densificação de campo de pontos de referência. Para isto, foram escolhidas duas áreas testes localizadas no Campus da UFPE e outra no Sítio Histórico de Olinda.

Os métodos de levantamentos topográficos planimétricos adotados foram: poligonação, interseção a vante e irradiação. O método da poligonação teve aplicação no transporte de coordenadas a partir de uma base georreferenciada por GPS para os vértices da poligonal topográfica, situada entorno de uma quadra cadastral localizada nos Quatro Cantos de Olinda; o método da interseção a vante foi aplicado no posicionamento do campo de pontos de referência e campo de pontos-objetos, enquanto o método da irradiação teve aplicação na definição dos pontos-objeto a partir do campo de pontos de referência. Neste trabalho, os pontos-objetos passam a ser os pontos de limites das parcelas territoriais urbanas.

A realização deste trabalho foi possível durante o magistério da disciplina de Topografia I (2007.2), em conjunto com a pesquisa de mestrado ora em desenvolvimento intitulada: “Experimentos e Análises Metodológicas do Desempenho de Estruturas Geodésicas Planimétricas Implantadas com GPS e Estação Total – Aplicações em Levantamentos Cadastrais Urbanos”. Os procedimentos metodológicos e alguns resultados destas medições são apresentados neste trabalho.

O objetivo destes levantamentos, dentre outros, foi de despertar nos estudantes, a aplicação da Ciência Geodésica no posicionamento e monitoramento de estruturas arquitetônicas históricas, uma área de aplicação com grande crescimento nos últimos anos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conhecimento geométrico da situação de uma edificação faz parte de uma das exigências para poder lidar com edificações arqueológicas e estruturas arquitetônicas históricas, como os casarios e Igrejas do Sítio Histórico de Olinda.

Plantas e desenhos como meios de representação arquitetônica devem em sua totalidade reproduzir completamente a edificação tridimensional e ao mesmo tempo fornecer uma verdadeira representação do objeto.

Um levantamento para esta finalidade deixa-se conduzir como descrição inversa do processo, o qual foi reproduzido de um desenho arquitetônico por meio da execução da obra e possivelmente modificado ao longo do tempo. As plantas reproduzidas desta maneira podem, além disso, de acordo com a necessidade fornecer informações para as medidas de modernização e sanitárias, para todos que fazem parte do processo de construção, juntamente com documentos de planejamento, descrição e cálculos monetários a disposição. Como as características do monumento estão ligadas a originalidade, pode o levantamento técnico de medição servir também a finalidade de preservação de monumentos históricos, ou seja, a conservação dos elementos naturais e das pistas históricas.

### 2.1 Estruturas geodésicas de georreferenciamento

A estrutura geodésica de georreferenciamento para o posicionamento de edificações arquitetônicas históricas advém de várias técnicas e metodologias de implantação de redes de pontos de referência para diversas finalidades. Estas estruturas são geograficamente bem distribuídas, destinadas neste trabalho ao posicionamento bidimensional. O estabelecimento e densificação das mesmas justificam-se pelo posicionamento geodésico e monitoramento, de forma precisa e exata de edificações arquitetônicas históricas situadas sobre a superfície terrestre e pela necessidade da elaboração de plantas topográficas cadastrais, para fins de planejamento, gerenciamento territorial e tributação.

Uma estrutura geodésica constitui-se em uma malha de vértices, materializados no terreno, conectados entre si através de observações (SANTOS, 1999). Esta representa um campo de pontos que poderá ser de referência ou de objetos (FERREIRA et al. 2004).

Neste trabalho as redes geodésicas serão denominadas de estruturas geodésicas georreferenciadoras de edificações arquitetônicas históricas.

Redes geodésicas têm a finalidade de realizar um campo de pontos materializados com valores planimétricos e altimétricos precisos. Estes campos de pontos fixos configuram a referência para as determinações do posicionamento de abrangência global, regional e local. Para (TORGE, 2003). Redes Globais realizam o Sistema de Referência definido através da convenção internacional. Redes nacionais configuram a base para o levantamento territorial nacional ou continental, as mesmas são as bases para os Sistemas de Informações Geográficas como também das Cartas Topográficas e Temáticas. Redes locais são implantadas principalmente para projetos de engenharia, investigações geofísicas, monitoramento de objetos entre outras e para a determinação de procedimentos geodinâmicos espacialmente limitados.

De acordo com a distribuição destes pontos classifica-se no Brasil entre rede de primeira, segunda, terceira e quarta ordem. Os pontos trigonométricos estão materializados no chão sobre a superfície terrestre ou

sobre edificações, denominadas estes últimos de pontos elevados (altos).

A escolha de cada ponto Geodésico/Topográfico deve seguir os seguintes critérios: (a) abranger certa área; (b) obedecer ao princípio de vizinhança; (c) para sua determinação deverá satisfazer ao critério de medições abundantes; (d) possível ligação do ponto do chão ao ponto elevado ou perto de pontos terrestres visíveis; (e) possibilite a simples ligação entre medições.

Este trabalho envolve uma combinação entre o sistema de medição à base da Tecnologia GPS e à base de uma Estação Total. Para isto a configuração dos pontos e a hierarquia das medições em redes otimizadas são de grande relevância.

## 2.2 Interligação entre campo de pontos de referência e campo de pontos-objeto

**O campo de pontos de referência e campo de pontos objetos.** Neste trabalho faz-se necessário a caracterização e definição dos campos de pontos de referência e pontos-objeto. Esses tipos de campo de pontos são tratados no posicionamento geodésico e medição de deformação de objetos por (FERREIRA et al 2004).

A interligação do campo de pontos de referência para a determinação das coordenadas dos pontos-objeto e reconstrução é realizada por meio de Sistemas de Medição à base de Teodolitos (DE SEIXAS, 2004).

Um campo de pontos de referência conforme BOTELHO (2003) pode ser uni, bi ou tri-dimensional. Dependendo da superfície de referência adotada seja ela o elipsóide de revolução ou um plano topográfico, o campo de pontos pode ser denominado de pontos geodésicos ou rede geodésica quando a curvatura terrestre é considerada, e campo de pontos topográficos ou rede topográfica considerando a terra como se fosse plana.

Tratando-se do campo de pontos de referência, o mesmo, é formado por um conjunto de pontos materializado na superfície terrestre com valores posicionais conhecidos, intencionalmente preparados para a definição do sistema de referência de medição estável. Este campo de pontos de referência tratando-se de edificações históricas, fica evidenciado por no mínimo dois vértices materializados fora do imóvel, objeto de estudo, situados em locais que ofereçam segurança. A materialização do mesmo é realizada por pinos ligados à superfície, pinos cravados a diferentes profundidades da superfície, entre outros. Geralmente os pinos são cravados no meio fio de paralelepípedo situados em torno da quadra onde está localizado o objeto de estudo. As coordenadas devem ser determinadas de forma a atender as especificações do IBGE (1998) e normas vigentes da ABNT: 13.133/1994 14.166/1998 e 14.645/2001 para execução de levantamentos geodésicos e topográficos.

O campo de pontos de referência, obrigatoriamente, deve ser conectado aos vértices das redes de referência geodésicas planimétricas que integram o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Essa interligação

ocorre por meio de estações GPS ativas e passivas desde que homologadas pelo IBGE.

Normalmente as redes determinadas por meio do posicionamento por satélite podem ser empregadas para densificar às redes implantadas para as medições terrestres, para que estas possam servir às Medições Aplicadas à Engenharia, ao Cadastro, à Topografia e aos Sistemas de Informações Geográficas.

Os pontos-objeto devem ter suas coordenadas referenciadas ao sistema definido pelo campo de pontos de referência. Para FERREIRA et al (2004) o campo de pontos-objeto tem a finalidade de descrever o objeto, de modo que o mesmo possa ser abstraído da melhor maneira possível. Neste trabalho a designação de campo de pontos-objeto é dada aos pontos de limites das edificações. Sua materialização é concretizada por pinos cravados a diferentes profundidades da superfície e por marcas que representem o ponto.

O campo de pontos de referência ou rede geodésica deve ser medida, calculada e ajustada formando figuras quadrangulares. Os pontos adicionais de referência podem ser observados por métodos terrestres de medição angular e linear, por exemplo, Poligonação, Interseção, irradiação e por outros métodos semelhantes.

A interligação entre os diferentes campos de pontos, dos seus correspondentes sistemas de coordenadas, será realizada na prática através do sistema de referência de medição. Neste contexto, tornam-se imprescindíveis as transformações entre os diferentes sistemas de coordenadas, envolvidos na região de estudo (DE SEIXAS e BURITY, 2005).

Uma das transformações mais usual é a transformação de similaridade, sendo a mais propícia para o caso deste trabalho, levando-se em consideração que os campos de pontos de referência e pontos de limites são medidos por GPS e métodos topográficos, portanto, contém resíduos. Esta transformação no modelo plano conforme KAHMEN & FAIG (1988), expressa a relação entre dois sistemas de coordenadas. Esta transformação requer no mínimo dois pontos de controle identificáveis e bem distribuídos comuns em ambos os sistemas. Nas situações onde são disponibilizados mais de dois pontos de controle um ajustamento pelo método dos mínimos quadrados é possível (WOLF et GHILANI 1996).

## 2.3 Métodos de levantamento por meio de um sistema de medição à base de teodolito(Estação Total) e GPS

Historicamente os métodos terrestres de medição sempre foram aplicados a levantamentos cadastrais por serem métodos tradicionais e capazes de fornecer medidas com precisão considerável, mas apresentam algumas limitações quanto aos demorados procedimentos de aquisição de dados no campo (SOUZA, 2001). Essas limitações foram reduzidas devido ao uso de novos equipamentos e softwares que tornaram a coleta de dados praticamente automatizada. Por outro lado, mesmo aplicando os métodos do Sistema GPS quase sempre é necessário integrá-los aos métodos terrestres de medição,

por exemplo, os métodos da poligonização e interseção a vante. Neste trabalho estes métodos são tratados no caso bidimensional.

### 2.3.1 Poligonização

A poligonização consiste no estabelecimento de um campo de vértices de poligonais, observação e cálculo dessas poligonais, formadas por um conjunto de segmentos de reta contíguos, que formam uma linha poligonal, dos quais são medidos a extensão dos lados e a amplitude dos ângulos por eles formados (FONTE et al, 2007). Cabe salientar que estas poligonais devem ser conectadas a um campo de pontos geodésicos de referência amarrado ao Sistema de Referência Geodésico Brasileiro (SIRGAS 2000).

O método da poligonização é o método de medição topográfico mais utilizado para apoiar os levantamentos cadastrais de pontos de limites de parcelas territoriais urbanas, em especial áreas de difíceis acesso. A aplicabilidade das poligonais é regulamentada pela a Norma NBR: 13.133/1994. No caso deste trabalho, tendo em vista o campo de pontos de referência, a proposta foi o estabelecimento de poligonais: fechada e apoiada, enquadradas pela norma como poligonais de classe IV P e II P.

### 2.3.2 Interseção a vante

No método de Interseção a Vante as coordenadas do ponto N são obtidas a partir de pontos de coordenadas conhecidas. Isso é possível quando se tem os ângulos dos pontos A, B e C como mostra a Figura 1.

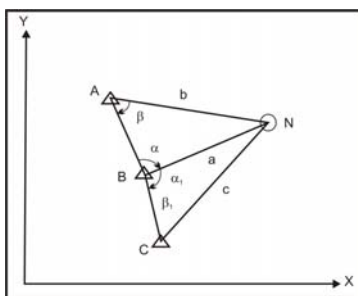


Figura 1 - Exemplo de interseção a Vante.

As coordenadas aproximadas  $X_0$  e  $Y_0$  do ponto N representado na Figura 1 são calculadas conforme as equações (1) e (2) (HÄBLER et al, 1984):

$$X_0 = \frac{X_2 \cdot \tan \beta + X_1 \cdot \tan \alpha - \Delta X \cdot \tan \alpha \cdot \tan \beta}{\tan \alpha + \tan \beta} \quad (1)$$

$$Y_0 = \frac{Y_2 \cdot \tan \beta + Y_1 \cdot \tan \alpha + \Delta Y \cdot \tan \alpha \cdot \tan \beta}{\tan \alpha + \tan \beta} \quad (2)$$

Onde,

$X_0$  e  $Y_0$  são as coordenadas aproximadas do ponto N;

$\alpha$  e  $\beta$  são os ângulos internos e;

$\Delta x$  e  $\Delta y$  são as diferenças de coordenada dos pontos de referência.

As coordenadas precisas do ponto N podem ser obtidas a partir de várias direções aos pontos fixos com coordenadas determinadas a este ponto (N), aplicando o ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados (KAHMEN, 2005).

### 2.3.3 Método de posicionamento relativo estático GPS

Para o posicionamento este método fornece a maior precisão atingível e requer um tempo de observação de longa duração (USDA e USDI, 2003), sendo procedida da seguinte forma: dois ou mais receptores rastreiam simultaneamente, os satélites visíveis, permanecendo estáticos durante a realização da medição. O tempo de observação depende do tipo de receptor (uma frequência ou duas frequências), da característica do *software* para o pós-processamento e do comprimento da linha de base (LEICK, 1995).

## 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A seguir é apresentada a metodologia de implantação de estruturas geodésicas de georreferenciamento e definição do conjunto de campo de pontos-objeto para o posicionamento e monitoramento de edificações arquitetônicas históricas e limites de parcelas territoriais urbanas:

- Escolha dos pontos passivos e ativos da rede geodésica brasileira de primeira ordem para o transporte de coordenadas;
- Levantamento e transporte de coordenadas para a área (implantação da estrutura geodésica densificada);
- Processamento e ajustamento da estrutura geodésica densificada, definidora de uma rede local de referência;
- Levantamento dos pontos-objeto e transporte de coordenadas da estrutura geodésica de georreferenciamento para os pontos-objeto.

### 3.1 Implantação de estruturas geodésicas no Campus da UFPE

O levantamento realizado no Campus da UFPE comporta uma Quadra “non aedificandi”, localizada nas proximidades do prédio da Biblioteca Central e do Centro de Convenções e contempla um conjunto de campo de pontos de referência geodésicos e topográficos, e um campo de pontos-objeto.

A Figura 2 representa geometricamente o campo de pontos de referência geodésicos/topográficos distribuídos em torno da Quadra em frente a Biblioteca Central da UFPE, o campo de pontos-objeto são os pontos dos vértices externos do letreiro UFPE.

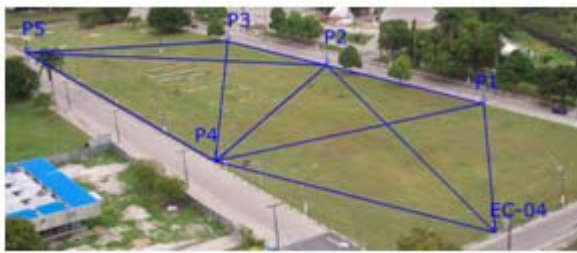


Figura 2 – Localização geométrica do Campo de Pontos de referência.

O campo de pontos de referência teve suas coordenadas geodésicas determinadas por GPS e por medições terrestres angulares e lineares, enquanto que o campo de pontos-objeto foi posicionado apenas pelas medições terrestres.

As medições terrestres angulares e lineares do campo de pontos de referência foram realizadas em 2006 durante a pesquisa de mestrado intitulada: Análise de Estruturas Geodésicas para atender o Georreferenciamento de Imóveis Rurais (BONIFÁCIO, 2007). Além disso, são utilizadas nas aulas práticas de Disciplinas de Topografia.

### 3.1.1 Levantamento do campo de pontos de referência por GPS

A campanha GPS foi realizada em 28 de janeiro de 2008, adotando as estações de referência RECF e EPS03. A primeira estação integra a rede GPS brasileira ativa: (RBMC). A estação EPS03 pertence à Rede de Referência Cadastral da UFPE.

O campo de pontos de referência observado por GPS é composto pelos vértices: P1, P2, P3, P4 e EC04 constituídos por pinos metálicos cravados no meio fio de paralelepípedos. Suas posições foram determinadas, aplicando o método de posicionamento relativo estático.

As observações por GPS foram realizadas utilizando receptores geodésicos L1/L2: 2 (dois) receptores 4000SST da TRIMBLE e 2 (dois) receptores da marca Rascal, com observações simultâneas entre as estações de referência RECF e EPS03. Os requisitos adotados para o rastreamento foram: máscara de elevação de 15° e taxa de gravação de 15 s.

As antenas dos receptores foram aproximadamente orientadas para o norte geográfico, para minimizar erro de orientação e as alturas das antenas foram medidas no início e no fim de cada ponto observado.

O processamento e ajustamento dos dados GPS, foram conduzidos aplicando-se dois softwares comerciais: Grafnet e TGO, devido à praticidade de manipulação dos mesmos e também para fins comparativos entre as coordenadas planas UTM obtidas aplicando o método de posicionamento estático.

Tratando-se do processamento todos os dados GPS foram convertidos para o formato RINEX em acordo com a literatura de MONICO (2000), que recomenda transformar os dados para este formato, quando se dispõe de dados coletados com diferentes marcas de receptores

GPS. Neste sentido, foi observado especificamente para o software TGO, que os dados coletados nos receptores da TRIMBLE, quando importados no formato original (data) permite melhor fixação das linhas de base. Por este motivo, foi decidido manter o formato original dos dados (data)

Na fase de processamento todas as linhas de base foram solucionadas com a fase da portadora L1 e obtiveram solução fixa. A obtenção das coordenadas do campo de pontos de referência foram obtidas considerando como referência as estações de RECF e EPS03 com processamento simultâneo.

A distribuição geométrica das linhas de base que interligam os pontos de referência providas do processamento e ajustamento nos softwares GrafNet e TGO são mostradas nas Figuras 3 e 4.

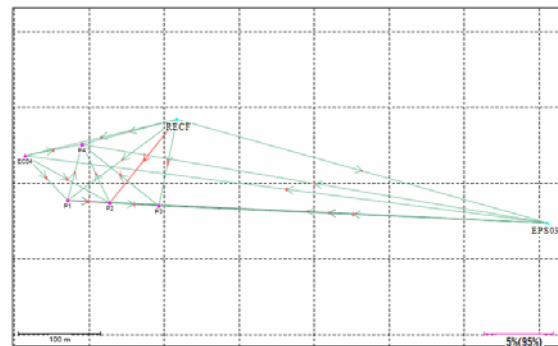


Figura 3 – Distribuição geométrica das Linhas de base. Fonte: Programa GrafNet.

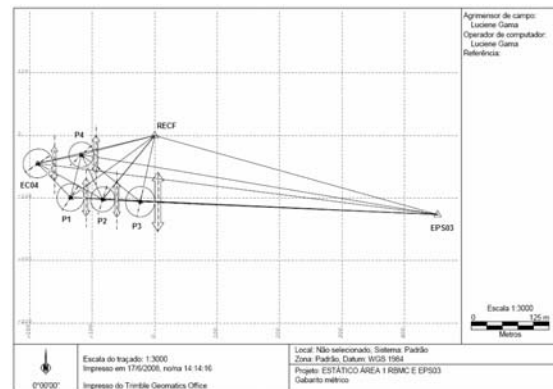


Figura 4 – Distribuição geométrica das Linhas de base observadas. Fonte: Programa TGO.

### 3.1.2 Levantamento do campo de pontos de referência por estação total

O levantamento no sistema topográfico local de campo de pontos de referência, aplicando o método de redes, foi realizado em dias distintos: 30 de agosto de 2006, observando-se os vértices EC04, P1, P2 e P4; e 06 de setembro de 2006, quando foram observados os pontos P4, P2, P3 e P5 (BONIFÁCIO, 2007).

As medições foram conduzidas utilizando-se uma Estação Total Trimble 3305 DR, com precisão angular de

5'' e precisão linear 5 mm + 5ppm e um conjunto de dois prismas refletores, com constantes aditivas pré-determinadas, posicionados sobre os tripés.

As observações de ângulos horizontais e verticais, e distâncias inclinadas foram realizadas em seis séries com visadas conjugadas direta e inversa com dispositivo de centragem forçada em atendimento às especificações da NBR 13.133/ 1994 e NBR 14.166/98. Dessa forma, a rede foi medida formando uma configuração geométrica triangular, permitindo que o método da interseção a vante fosse aplicado para o cálculo das coordenadas do campo de pontos de referência.

Neste trabalho as coordenadas geodésicas aproximadas do campo de pontos de referência foram calculadas aplicando o método da interseção a vante em uma planilha elaborada no software Excel e ajustadas no software ADJUST.

Para o ajustamento, o modelo adotado considerou sempre três pontos de referência, quatro ângulos internos e as coordenadas aproximadas do ponto a ser ajustado (cf. Figura 1).

Dispondo-se de todas as coordenadas dos pontos de referência no sistema topográfico local (X, Y) e no sistema UTM (E, N), uma aplicação da transformação de similaridade é possível (cf. item 2.2) para apresentação de coordenadas no mesmo sistema cartográfico, ou seja, coordenadas E e N. Esta transformação foi realizada neste trabalho considerando três pontos de controles (referência), permitindo assim, um ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) aplicando o software ADJUST.

### 3.1.3 Levantamento do campo de pontos-objeto por estação total

Para a demonstração da realização de integração de dados coletados com GPS e dados providos de Estação Total foi realizado o levantamento do conjunto do 40 pontos de limites (pontos-objeto) das letras que compõem a sigla UFPE, representados na Figura 5.

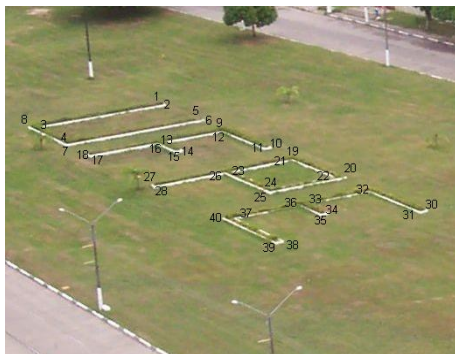


Figura 5 – Localização geométrica do Campo de pontos-objeto.

O levantamento topográfico foi realizado com três Estações Totais Trimble 3305 DR, com precisão angular

de 5'' e precisão linear 5 mm + 5ppm simultaneamente aos mesmos pontos, durante as aulas de Topografia 1 (Relatórios Técnicos, 2007). Estes foram irradiados triplamente a partir do levantamento topográfico, no qual foram executadas duas séries de leituras com visadas conjugada direta e inversa, tomando como referência os vértices integrantes do campo de pontos de referência P4, P3 e P2.

As coordenadas aproximadas aplicando o método da interseção a vante foram calculadas no Sistema Topográfico Local (STL) empregando um aplicativo desenvolvido no Excel envolvendo ângulos internos, distâncias das linhas de base e coordenadas dos pontos de referência P4, P3 e P2. A Figura 6 ilustra a irradiação tripla formada pelos pontos de referência e o pontos-objeto, que por hipótese representam os pontos de limites de supostas edificações.

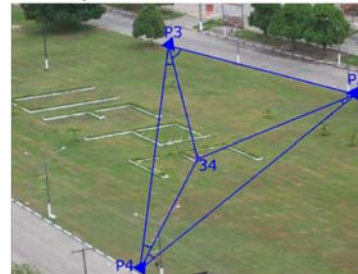


Figura 6 – Geometria do método da interseção a vante.

Duas coordenadas aproximadas foram calculadas para cada ponto-objeto, primeiramente foi obtida as coordenadas aproximadas utilizando os dados do triângulo P134P4 e posteriormente, usando o triângulo P334P4. Dessa forma, foi adotado a média das coordenadas para os cálculos de ajustamento.

A transformação de coordenadas por similaridade (cf. item 2.2). Também foi aplicada aos pontos-objeto. O software utilizado para esta transformação também foi o ADJUST.

### 3.2 Implantação de estruturas geodésicas no Sítio Histórico de Olinda

A exemplo das estruturas geodésicas implantadas no Campus da UFPE, uma área do Sítio Histórico de Olinda foi contemplada com a implantação e densificação de um campo de pontos de referência e um conjunto de campo de pontos-objeto que servirão para o posicionamento e reconstrução de edificações arquitetônicas históricas, situadas na Rua Ladeira da Misericórdia. O campo de pontos de referência foi determinado por GPS e por métodos terrestres de medição. Enquanto que o campo de pontos-objeto foi medido apenas por métodos de levantamentos topográficos. Os campos de pontos de referência foram determinados por GPS e Estação Total, compreendem os vértices BVM, MR, EB-105, Q-458, Q-483, Q-60, Q-62, IGRM e ART (Figura 7).

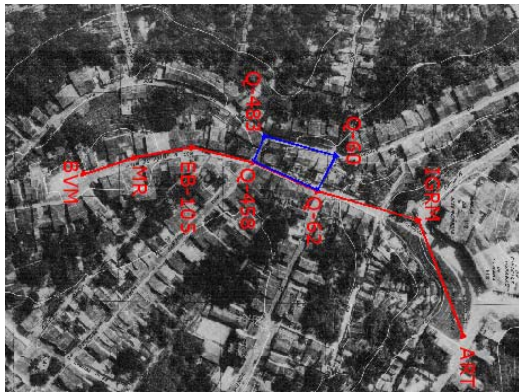


Figura 7 – Localização do Campo de pontos de referência no Sítio Histórico de Olinda

O processamento e análise dos dados estão em fase de desenvolvimento, cabendo aqui apresentar a área de campo de pontos experimental para realização de testes e atividades práticas das Disciplinas de Topografia.

**4. Resultados dos experimentos realizados no Campus da UFPE**

Neste item são apresentados os resultados concernentes aos experimentos realizados no Campus da UFPE, tendo em vista que o processamento dos dados coletados em Olinda encontra-se em andamento.

**4.1 Resultados do levantamento do campo de pontos de referência por GPS**

Os resultados obtidos do levantamento cadastral do campo de pontos de referência, processados e ajustados nos *software* GrafNet e TGO, foram às coordenadas geodésicas ajustadas referenciadas ao Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000. Posteriormente estas coordenadas foram transformadas em planas retangulares UTM no mesmo Sistema de Referência. As coordenadas geodésicas e UTM estão listadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Coordenadas Planas retangulares UTM em SIRGAS 2000. Fonte programa Grafinet.

PONTO	COORDENADAS UTM				H. ELIPSOIDAL	
	E(m)	$\sigma_e$ (m)	N(m)	$\sigma_n$ (m)	h (m)	$\sigma_h$
EC04	284744,025	0,003	9109509,514	0,003	3,395	0,005
P1	284796,530	0,003	9109455,488	0,003	3,275	0,005
P2	284848,165	0,003	9109452,607	0,003	3,091	0,005
P3	284908,291	0,003	9109449,146	0,003	3,042	0,008
P4	284813,765	0,003	9109523,846	0,003	3,227	0,005

Os valores posicionais das coordenadas geodésicas e planas retangulares UTM com seus respectivos desvios padrões estão contidos na Tabela 2.

**Tabela 2** – Coordenadas geodésicas e planas retangulares UTM em SIRGAS 2000. Fonte software TGO.

PONTO	COORDENADAS UTM				H. ELIPSOIDAL	
	E(m)	$\sigma_e$ (m)	N(m)	$\sigma_n$ (m)	h (m)	$\sigma_h$
EC04	284744,030	0,003	9109509,500	0,002	3,524	0,008
P1	284796,530	0,002	9109455,500	0,002	3,353	0,002
P2	284848,160	0,003	9109452,600	0,002	3,218	0,006
P3	284908,290	0,003	9109449,100	0,003	3,107	0,012
P4	284813,770	0,002	9109523,800	0,002	3,360	0,004

Considerando as Tabelas 1 e 2 foram calculadas as discrepâncias de coordenadas planas retangulares UTM e resultantes planimétricas geradas a partir da aplicação do método de posicionamento estático, cujos valores são mostradas na Tabela 3. Estes resultados mostra o vetor bidimensional para cada vértice do campo de pontos de referência.

**Tabela 3** – Discrepâncias entre as coordenadas nos software TGO e GrafNet.

PONTO	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)	RESULTANTE PLANIMÉTRICA
EC04	0,000	0,000	0,000
P1	0,003	0,001	0,003
P2	0,001	0,001	0,001
P3	0,001	0,001	0,001
P4	0,000	0,000	0,000

Analisando a Tabela 3 as discrepâncias das coordenadas planas UTM do campo de pontos de referência provenientes da aplicação do método de posicionamento estático processado e ajustado nos softwares comerciais TGO e Grafnet, nota-se que os valores das resultantes planimétricas: apresenta maior valor para o vértice P1 com valor de 3 mm e menor valor para o ponto P4.

**4.2 Resultados do levantamento do campo de pontos de referência por estação total**

As coordenadas UTM do campo de pontos de referência ajustados por interseção a vante após a transformação de similaridade, são mostradas, respectivamente, na Tabela 4.

**Tabela 4** – Coordenadas planas UTM em SIRGAS 2000 obtidas por transformação de similaridade.

PONTOS	COORDENADAS	
	E (m)	N (m)
EC04	284744,161	9109509,526
P1	284796,537	9109455,527
P2	284848,015	9109452,663
P3	284908,681	9109449,110
P4	284813,629	9109523,706

As discrepâncias resultantes entre as coordenadas do campo de pontos de referência, obtidas por posicionamento por satélites GPS (Tabela 1) e as coordenadas topográficas locais (Tabela 4) provenientes do ajustamento por interseção a vante, após transformação de similaridade para obtenção de coordenadas no sistema UTM são mostradas na Tabela 5.

**Tabela 5** - Discrepâncias entre as coordenadas UTM do campo de pontos de referência levantados por GPS/ Medições Terrestres com Estação Total.

PONTO	DISCREPÂNCIA GPS/INTERSEÇÃO A VANTE		RESULTANTE PLANIMÉTRICA
EC04	0,136	0,012	0,137
P1	0,010	0,038	0,039
P2	0,149	0,057	0,160
P3	0,389	0,035	0,391
P4	0,136	0,140	0,195

Comparando-se os resultados das coordenadas Planas UTM das Tabelas 1 e 4, cujas as discrepâncias em Este e Norte e suas respectivas resultantes planimétricas são apresentadas na Tabela 5, nota-se que apenas o ponto P1 apresenta valores inferiores a 10 cm.

### 4.3 Resultados do levantamento do campo de pontos-objeto por estação total

Quanto aos pontos de limites das supostas edificações (sigla UFPE), os resultados provenientes da transformação de similaridade e os parâmetros de transformação resultantes são mostrados na Tabela 6.

Nos pontos 30, 31, 32, 39 e 40 foram detectados erros grosseiros, sendo desta forma excluído do processo de transformação de coordenadas.

**Tabela 6** – Parâmetros de transformação e coordenadas UTM com seus respectivos desvios padrões.

PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO									
a = 0,69526 ± 0,00102			Tx = 744,179 ± 0,132			Rotação = 314°08'46,1"			
b = -0,71630 ± 0,00102			Ty = 509,512 ± 0,132			Escala = 0,99823			
COORDENADAS PLANAS UTM PROVINDAS DA TRANSFORMAÇÃO DE SIMILARIDADE									
PONTOS	ESTE(m)	σx	NORTE(m)	σy	PONTOS	ESTE(m)	σx	NORTE(m)	σy
1	284889.564	0.063	9109477.598	0.063	21	284859.163	0.054	9109482.854	0.054
2	284888.776	0.063	9109477.747	0.063	22	284850.87	0.055	9109484.104	0.055
3	284891.293	0.066	9109491.648	0.066	23	284860.272	0.055	9109489.001	0.055
4	284882.931	0.062	9109492.904	0.062	24	284851.984	0.056	9109490.183	0.056
5	284880.406	0.059	9109478.95	0.059	25	284851.243	0.056	9109491.164	0.056
6	284879.58	0.058	9109479.062	0.058	26	284851.984	0.056	9109490.183	0.056
7	284882.256	0.062	9109493.84	0.062	27	284861.709	0.058	9109496.794	0.058
8	284892.238	0.067	9109492.311	0.067	28	284862.485	0.058	9109496.677	0.058
9	284874.57	0.057	9109479.837	0.057	29	284844.936	0.056	9109484.117	0.056
10	284864.696	0.054	9109481.295	0.054	30	-	-	-	-
11	284864.827	0.055	9109482.092	0.055	31	-	-	-	-
12	284874.129	0.057	9109480.563	0.057	32	-	-	-	-
13	284874.961	0.058	9109486.912	0.058	33	284845.389	0.057	9109491.148	0.057
14	284870.781	0.057	9109487.634	0.057	34	284841.423	0.058	9109491.742	0.058
15	284871.047	0.057	9109488.346	0.057	35	284841.597	0.058	9109492.556	0.058
16	284875.328	0.058	9109487.597	0.058	36	284845.536	0.057	9109491.950	0.057
17	284876.487	0.061	9109494.67	0.061	37	284846.651	0.059	9109498.121	0.059
18	284877.278	0.061	9109494.636	0.061	38	284837.582	0.062	9109499.426	0.062
19	284859.841	0.054	9109481.921	0.054	39	-	-	-	-
20	284849.871	0.055	9109483.387	0.055	40	-	-	-	-

Analisando a Tabela 6, nota-se que os desvios padrões tanto em E quanto em N estão na ordem de 7 cm.

## 5 CONCLUSÕES

O processamento e ajustamento de dados GPS do campo de pontos de referência em softwares distintos

possibilitou uma confrontação dos resultados, permitindo detectar possíveis erros grosseiros nas observações GPS. Os resultados provenientes do processamento e ajustamento dos dados GPS nos softwares GrafNet e TGO, mostraram-se compatíveis, com diferenças de coordenadas UTM obtidas para o campo de pontos de referência inferiores a 3 mm.



As coordenadas Planas UTM do campo de pontos de referência obtidas por Estação Total, mostra-se resultados satisfatórios quando comparadas às coordenadas Planas UTM obtidas por GPS. As diferenças encontradas são consideradas comuns quando compará-se resultados posicionais de métodos topográficos com o método de posicionamento estático da Tecnologia GPS.

Quanto ao posicionamento geodésico do campo de pontos-objeto, os valores posicionais encontrados apresentam desvios padrões tanto em Este quanto em Norte compatíveis com as exigências para a determinação das coordenadas de pontos de limites de parcelas territoriais urbanas.

O método da interseção a vante mostrou resultados coerentes para definição posicional de pontos objetos, o que torna recomendável sua aplicação em levantamentos cadastrais urbanos a partir de uma base georreferenciada por GPS. Cabe salientar que para obtenção de resultados consistentes com a aplicação deste método um ajustamento por MMQ é necessário.

Para a compatibilização entre as coordenadas UTM e os dados coletados por Estação Total é recomendado uma transformação por coordenadas, para se tenha uniformidade nos resultados, mesmo se tratando de pequenas linhas de base onde os efeitos da curvatura terrestre são praticamente desprezíveis.

Diante do exposto, evidencia-se a importância da definição de um campo de pontos de referência a partir de pontos geodésicos integrante de um SGR, na área de estudo. Estes devem passar por um rigoroso ajustamento para que seus resultados apresentem confiabilidade e garantam a homogeneidade do levantamento.

## AGRADECIMENTOS

Aos Laboratórios de Topografia e Geodésia LATOP E LAGEO, respectivamente, do Departamento de Engenharia Cartográfica e à coordenação do curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR-13.133 – **Normas Técnicas para a Execução de Levantamentos Topográficos**. 1994.

ABNT: NBR 14166 – **Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento**. Rio de Janeiro : 1998.

BONIFÁCIO, M.B . **Análise de Estruturas Geodésicas para atender o Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2007

BOTELHO, F.J.L. **Métodos de Racionalização Construtiva no Posicionamento preciso de Edificações Prediais**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-

Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação. 96 P. 2003.

DE SEIXAS. **Sistemas de Medição Polar à Base de Teodolitos e Definição do Método das Linhas de Grade**. RBC, Número 56/2, 2004.

DE SEIXAS, BURITY. **Geodésia aplicada à medição e ao monitoramento de áreas de risco em sítios industrializados**. IV CBCG, Curitiba-PR, 2005.

FERREIRA, DE SEIXAS, ROMÃO. **Conceituação de campos de pontos na medição de deformação de objetos**. I SIMGEO, Recife-PE, 2004.

FONTE, C. C.; VICENTE, M. A.F. **Textos de apoio de Topografia**. Departamento de Matemática FCTUC Universidade de Coimbra. Disponível em [http://www.mat.uc.pt/~cfonte/docencia/Topografia/Sebenta\\_civil\\_0405.pdf](http://www.mat.uc.pt/~cfonte/docencia/Topografia/Sebenta_civil_0405.pdf). Acesso em 27/06/2008.

HÄBLER, J.; WACHSMUTH. **Vermessungs beruf**. 1984.

IBGE. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos: Coletânea das normas vigentes**. Rio de Janeiro. 1998.

KAHMEN. **Vermessungskunde**. 20. Aufl., 2005.

LEICK, A. **GPS: Satellite surveying**. 2. ed. New York: J.Wiley. 1995. 560p.

MONICO, J. F. Galera. **Posicionamento pelo NAVSTAR – GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. Editora UNESP – São Paulo. 2000.

SANTOS, M.C. dos. **Estabilidade das Estruturas Geodésicas**. UFPR/ setor de Ciências da Terra. Curitiba. 1999. 79p.

SOUZA, G.C. **Análise de Metodologia no Levantamento de dados Espaciais para o Cadastro Urbano**. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos – USP. 122 P. 2001.

TORGE, W. **Geodaesie**, 2. Aufage, de Gruyter Lehrbuch. 2003 Berlin.

USDA e USDI. **Standards and Guidelines for Cadastral Surveying Using Global Positioning System Methods**. Version 1.0. Washington: Department of Agriculture - Forest Service United States of the Interior – Bureau of Land Mangament. 2001. Acessado em 8/11/2006. Disponível em <http://www.fig.net>.

WOLF, P. R.; GHILANI, C. D.: **Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics**. 3th. New York: John Wiley & Sons Inc., 2006. 564p.